

Penyerapan Logam Pb Dan Cd oleh

PENYERAPAN LOGAM Pb DAN Cd OLEH ECENG GONDOK : PENGARUH KONSENTRASI LOGAM DAN LAMA WAKTU KONTAK

Nastiti Siswi Indrasti ¹, Suprihatin ¹, Burhanudin ² dan Aida Novita ³

¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

²Sygenta Indonesia

³Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pasca Sarjana, IPB

ABSTRACT

*There have been many research on heavy metal removal using aquatic plant. This research was conducted using Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) to absorb and accumulate Pb and Cd in a single mixed of them (Pb+Cd). Initial heavy metals concentrations used in this research were 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 and 10.0 mg/l and contact period of 15 days. The result indicated that the rate of absorption and accumulation of mixed heavy metals (Pb+Cd) was higher compared to single heavy metal. The highest removal efficiencies for Pb (single), mixed (Pb+Cd) and Cd (single) were 88.10%, 86.06% and 85.83% respectively. Heavy metals were accumulated more in the root of *Eichhornia crassipes* than in the tissues (stem and leave). Heavy metals accumulation in the root for mixed (Pb +Cd), Pb (single) and Cd (single) were 21628 mg/kg, 16644 mg/kg, and 14057 mg/kg respectively, while heavy metals accumulation on plant tissues (stem and leaves) for mixed (Pb+Cd), Pb (single) and Cd (single) were 1305 mg/kg, 620.5 mg/kg, and 600.5 mg/kg. It is concluded that the higher the initial concentration of heavy metal in the waste water, the more metals can be absorbed by *Eichhornia crassipes*. The longer contact period, the more metals could be adsorbed too.*

Key words: Pb and Cd metals, consentration and contact period

PENDAHULUAN

Secara umum diketahui bahwa logam berat merupakan elemen yang berbahaya di permukaan bumi. Beberapa unsur logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), arsen (As) dan aluminium (Al) tidak mempunyai fungsi biologik sama sekali bagi manusia. Logam-logam tersebut sangat berbahaya walaupun dalam jumlah yang relatif kecil dan menyebabkan keracunan (toksik) pada makhluk hidup (Darmono, 1995).

Salah satu cara pengolahan limbah cair yang berasal dari kegiatan industri adalah pengolahan alternatif dengan menggunakan tanaman air yang mempunyai kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat (Zayed et al., 1998).

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan salah satu jenis tanaman air yang memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat (Ingole, 2003). Tumbuhan ini berpotensi dalam menyerap logam berat karena merupakan tanaman dengan toleransi tinggi yang dapat tumbuh baik dalam limbah, pertumbuhannya cepat serta menyerap dan mengakumulasi logam dengan baik dalam waktu yang singkat. Eceng gondok juga dapat menurunkan nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah cair (Zayed et al., 1998).

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan beberapa tahun terakhir hanya sebatas pada *screening* tanaman yang mampu menyerap dan mengakumulasi logam. Pada kenyataannya, banyak faktor yang mempengaruhi kemampuan tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi logam dalam jaringannya, bukan hanya pada pemilihan jenis tanaman (Huang, 2000, dalam Vara Prasad et al., 2002). Faktor-faktor inilah yang terus dikaji oleh para peneliti untuk meningkatkan kemampuan akumulasi logam berat dalam jaringan tanaman, diantaranya adalah jenis logam yang diserap dan konsentrasi logam berat dalam limbah.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kemampuan eceng gondok dalam menyerap Pb dan Cd dan mengetahui pengaruh jenis dan bentuk logam baik dalam bentuk tunggal maupun campuran, konsentrasi Pb dan Cd dalam limbah serta lama waktu kontak eceng gondok dengan limbah terhadap kemampuan eceng gondok dalam menyerap Pb dan Cd.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Eceng gondok dikumpulkan dari Situ Jampang Pulo, Kecamatan Kemang, Kabupaten Bogor. Eceng gondok dipelihara dalam aquarium yang

berisi seperdelapan *Hoaglands Solution* sebagai unsur hara selama satu minggu. Kandungan *Hoaglands Solution* yang digunakan adalah sebagai berikut: 0,25 ml/L KNO_3 , 0,25 ml/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,25 ml/L NaH_2PO_4 , 0,25 ml/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,625 ml/L Fe-EDTA dan 0,0125 ml/L *micro nutrients*. Kemudian dipilih tanaman dengan ukuran dan berat yang hampir seragam. Ukuran tinggi tanaman bervariasi dari 13-16 cm dan berat segar tanaman 50-60 gr.

Logam berat yang digunakan dalam penelitian ini adalah $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan CdSO_4 dengan konsentrasi logam adalah 0,5 mg/l, 1 mg/l, 3 mg/l, 5 mg/l dan 10 mg/l, dan waktu kontak yang diamati adalah 0,3, 6, 9, 12, 15 hari.

Penelitian ini menggunakan 15 aquarium dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 30 cm dan tinggi 40 cm. semua aquarium diisi dengan limbah sebanyak 40 L dan dilakukan secara *batch*.

Metode

Penelitian pada logam tunggal menggunakan aquarium sebanyak 10 buah. Aquarium diisi dengan limbah yang hanya mengandung satu jenis logam berat. Kombinasi perlakuan yang digunakan adalah kombinasi perlakuan faktorial 5 x 6, yaitu antara konsentrasi logam berat (0,5 ; 1 ; 3 ; 5 dan 10 mg/l) dan waktu kontak (0, 3, 6, 9, 12 dan 15 hari). Kombinasi ini menghasilkan 30 petak percobaan dengan dua kali ulangan untuk masing-masing jenis logam, yaitu kadmium dan timbal.

Penelitian menggunakan logam campuran membutuhkan 5 buah aquarium yang diisi dengan limbah yang mengandung kadmium dan timbal dengan perbandingan konsentrasi yang sama. Kombinasi perlakuan yang digunakan adalah kombinasi 5 x 6 antara konsentrasi logam berat untuk masing-masing jenis logam (0,5 ; 1 , 3 , 5 dan 10 mg/l) dan waktu kontak (0, 3, 6, 9, 12 dan 15 hari) sehingga diperoleh 30 petak percobaan dengan dua kali ulangan.

Ulangan dilakukan setelah hari ke lima belas. Seluruh aquarium diisi kembali dengan *Hoagland's Solution* yang ditambahkan Pb dan Cd (baik untuk logam tunggal dan campuran).

Rancangan percobaan untuk logam tunggal dan campuran menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan pola faktorial 3 x 5 x 6. Faktor pertama adalah jenis logam yaitu Pb (tunggal), Cd (tunggal) dan campuran (Pb dan Cd). Faktor kedua adalah konsentrasi logam dalam limbah (0,5; 1 ; 3 ; 5 dan 10 ppm) dan faktor ketiga adalah waktu kontak eceng gondok dengan limbah (0, 3, 5, 8, 11 dan 15 hari) dengan ulangan sebanyak dua kali (Hines et al., 1990). Model matematis yang digunakan adalah:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

dimana :

A = faktor pertama (jenis logam)

B = faktor kedua (konsentrasi logam)

C = faktor ketiga (waktu kontak)

Metoda pengambilan contoh dari aquarium yang digunakan adalah 'grab sample' yaitu pengambilan contoh sesaat. Pengambilan contoh dilakukan sebanyak 6 kali pada masing-masing aquarium yaitu pada hari ke-0 3, 6, 9, 12 dan 15. Pemanenan eceng gondok dilakukan pada hari ke 15.

Analisis kandungan kadmium (Cd) dan timbal (Pb) dalam larutan sampe, jaringan eceng gondok (akar dan daun) dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Perhitungan laju penyerapan didasarkan pada berat kering logam (mg/kg) yang diserap tanaman (akar, batang dan daun) serta berat kering tanaman (mg). Rumus yang digunakan adalah :

$$LP = \frac{(A \times M) - (B \times N)}{(A + B) \times t}$$

dimana

LP= Laju penyerapan

A = Biomassa jaringan

B = Biomassa akar

C = Biomassa jaringan dan akar

M = Konsentrasi logam dalam jaringan

N = Konsentrasi logam di akar

T = Lama waktu kontak

Perhitungan *removal efficiency* dalam penelitian ini didasarkan pada penurunan konsentrasi logam dalam limbah (mg/l) selama 15 hari perlakuan. Rumus yang digunakan adalah :

$$RE = \frac{(A - B)}{A}$$

dimana

RE = *Removal efficiency*

A = Konsentrasi awal logam dalam limbah

B = Konsentrasi akhir logam dalam limbah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Fisik Eceng Gondok

Hasil penelitian penyerapan Pb dan Cd oleh eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menunjukkan bahwa pertumbuhan eceng gondok pada limbah yang hanya mengandung logam Pb tidak menunjukkan perubahan fisik yang berarti. Pada konsentrasi rendah (0,5-3 ppm), pertumbuhan normal dan pada konsentrasi tinggi (5 dan 10 ppm)

daun mulai berwarna kuning muda dan akhirnya sebagian mati dengan meningkatnya waktu kontak. Akar tumbuh dengan baik dan berwarna coklat kehitaman dengan panjang 7-15 cm. Algae mulai tumbuh pada hari ketiga. Pertumbuhan algae semakin banyak dengan meningkatnya waktu. Kehadiran algae disebabkan oleh adanya *Hoagland's solution* yang berfungsi sebagai unsur hara pertumbuhan eceng gondok.

Pertumbuhan eceng gondok pada limbah yang hanya mengandung logam Cd terlihat lebih terhambat. Hal ini ditunjukkan dengan pertumbuhan yang tidak normal, daun berwarna hijau muda dan ukurannya lebih kecil dari ukuran normal (3-6 cm). Akar tidak tumbuh dengan baik, berwarna ungu kecoklatan dengan panjang 3-7 cm. Algae tetap bisa tumbuh pada konsentrasi 0,5-5 ppm namun pada konsentrasi 10 ppm algae sudah tidak mampu untuk tumbuh. Hal ini menunjukkan bahwa toksisitas logam Cd lebih tinggi daripada logam Pb.

Perubahan fisik eceng gondok pada limbah yang mengandung logam campuran (Pb dan Cd) terjadi dengan cepat. Pada konsentrasi, 1 ppm pada hari ke-3 daun mulai berwarna kuning. Akar tidak tumbuh dengan baik, berwarna ungu kecoklatan dan ukurannya 3-7 cm. Seperti pada limbah yang hanya mengandung logam Cd, algae hanya dapat tumbuh pada konsentrasi 0,5 - 5 ppm. Pada konsentrasi 10 ppm algae sudah tidak mampu untuk tumbuh.

Kemampuan Penyerapan dan Akumulasi

Kemampuan eceng gondok dalam menyerap dan mengakumulasi logam secara keseluruhan dapat dilihat dari laju penyerapan dan akumulasi total. Perhitungan laju penyerapan didasarkan pada berat kering biomassa dan konsentrasi logam (mg/kg) yang diserap tanaman (akar, batang dan daun) selama perlakuan.

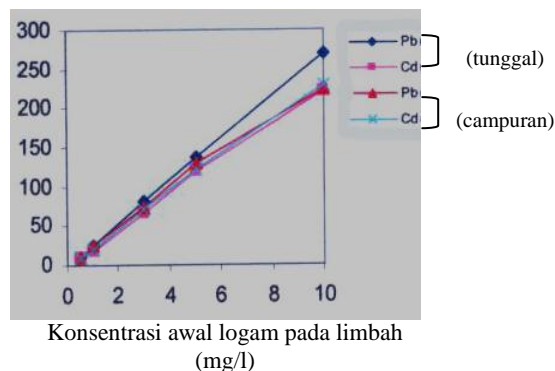
Gambar 1 menunjukkan laju penyerapan pada berbagai konsentrasi awal logam dalam limbah. Pada konsentrasi awal logam dalam limbah sebesar 10 mg/l, laju penyerapan Pb (tunggal) sebesar 269,66 mg/kg/hari, Cd (tunggal) 221,68 mg/kg/hari, Pb (campuran) 223,87 mg/kg hari dan Cd (campuran) sebesar 227,86 mg/kg/hari.

Perhitungan laju penyerapan menunjukkan bahwa jenis logam mempengaruhi laju penyerapan logam oleh eceng gondok. Laju penyerapan logam Pb lebih tinggi dibandingkan dengan logam Cd dalam bentuk tunggal. Untuk bentuk campuran, laju penyerapan logam Cd lebih tinggi daripada logam Pb.

Selain jenis logam, bentuk logam baik tunggal maupun campuran juga mempengaruhi laju penyerapan logam oleh eceng gondok. Laju penyerapan logam dalam bentuk campuran hampir dua kali lebih besar dibandingkan dengan laju penyerapan logam

dalam bentuk tunggal. Konsentrasi awal logam dalam limbah juga mempengaruhi laju penyerapan logam oleh eceng gondok. Dengan meningkatnya konsentrasi logam dalam limbah maka laju penyerapan juga ikut meningkat. Laju penyerapan tertinggi dicapai pada konsentrasi 10 mg/l.

Laju penyerapan
(mg/kg/day)



Gambar 1. Laju penyerapan pada berbagai konsentrasi awal logam dalam limbah

Akumulasi logam dalam limbah merupakan informasi selanjutnya yang menjadi perhatian dalam menggambarkan kemampuan penyerapan dan akumulasi logam oleh eceng gondok. Semakin banyak logam yang dapat diakumulasi oleh eceng gondok, maka semakin tinggi kemampuan penyerapan dan akumulasi logam oleh tanaman. Akumulasi logam Pb dan Cd oleh eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Akumulasi logam oleh eceng gondok pada berbagai konsentrasi pada hari ke-15

No	Jenis logam	Konsentrasi awal logam dalam limbah (mg/l)	Akumulasi logam di tanaman (mg/kg)
1	Pb (Tunggal)	0,5	743
2		1	1508
3		3	4988
4		5	8506
5		10	17244,5
1	Cd (Tunggal)	0,5	631
2		1	1219
3		3	4071
4		5	7687,5
5		10	15865,5
1	Pb Campuran	0,5	632
2		1	1396
3		3	482,5
4		5	8663,5
5		10	16218
1	Cd Campuran	0,5	604,5
2		1	1185
3		3	4552
4		5	7970
5		10	16351

Hasil perhitungan laju penyerapan eceng gondok menunjukkan bahwa akumulasi logam Pb dan Cd lebih banyak terjadi dalam bentuk campuran yaitu sebesar 32569 mg/kg berat kering, dibandingkan dalam bentuk tunggal untuk logam Pb yaitu 17244 mg/kg berat kering dan logam Cd sebesar 15865 mg/kg berat kering untuk konsentrasi awal logam dalam limbah sebesar 10 mg/l.

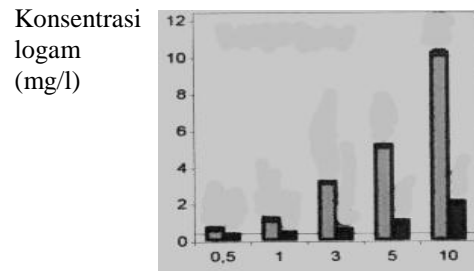
Kemampuan penyerapan dan akumulasi logam oleh tanaman juga dapat digambarkan oleh *removal efficiency*. Hasil perhitungan *removal efficiency* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Removal efficiency* logam Pb dan Cd pada berbagai konsentrasi

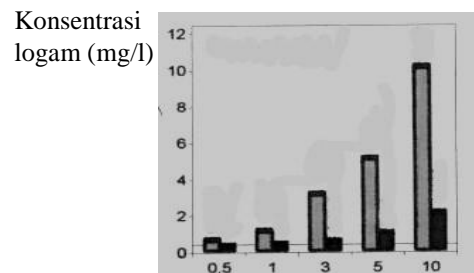
Jenis logam	Konsentrasi awal logam dalam limbah (mg/l)	Removal efficiency (%)
Pb (Tunggal)	0,5	81,48
	1	81,26
	3	88,10
	5	83,49
	10	82,50
Cd (Tunggal)	0,5	64,00
	1	71,26
	3	85,33
	5	82,07
	10	80,12
Pb (Campuran)	0,5	85,49
	1	79,91
	3	86,30
	5	80,47
	10	77,16
Cd (Campuran)	0,5	66,23
	1	74,45
	3	85,83
	5	82,57
	10	81,20

Dari Tabel 2. dapat dilihat bahwa konsentrasi mempengaruhi *removal efficiency* logam berat oleh eceng gondok. *Removal efficiency* paling tinggi untuk semua jenis logam dapat dicapai pada konsentrasi 3 mg/l. Untuk konsentrasi 0,5-3 mg/l *removal efficiency* meningkat dengan meningkatnya konsentrasi, sedangkan untuk konsentrasi 5-10 mg/l *removal efficiency* menurun dengan meningkatnya konsentrasi logam dalam limbah. Konsentrasi masing-masing jenis logam dalam limbah menurun seperti yang terlihat pada Gambar 2. Penurunan konsentrasi logam dalam limbah selama 15 hari perlakuan sangat signifikan. Untuk konsentrasi awal logam dalam limbah 0,5 - 5 mg/l, konsentrasi logam pada hari ke 15 berkisar antara 0,715 - 0,975 mg/l,

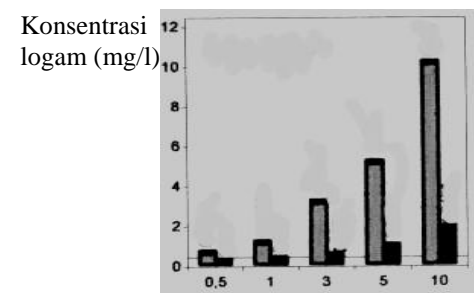
sedangkan untuk konsentrasi 10 mg/l, konsentrasi logam dalam limbah pada hari ke 15 masih cukup tinggi yaitu sekitar 2 mg/l. Dari Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi logam dalam limbah maka semakin banyak logam yang tersisa pada hari ke-15.



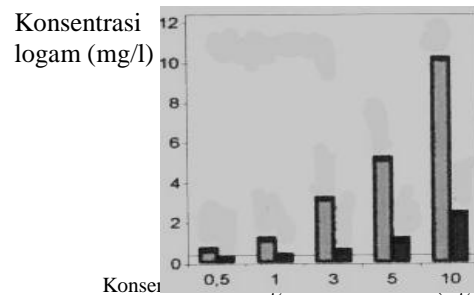
Konsentrasi awal logam dalam limbah (mg/l)



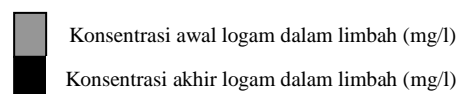
Konsentrasi awal logam dalam limbah (mg/l)



Konsentrasi awal logam dalam limbah (mg/l)



Konsentrasi awal logam dalam limbah (mg/l)



Gambar 2. Kemampuan eceng gondok dalam penurunan konsentrasi logam dalam limbah

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Penyerapan

Jenis Logam

Kemampuan tanaman untuk menyerap dan mengakumulasi berbagai jenis logam ini menarik perhatian karena setiap tanaman memiliki kemampuan yang berbeda. Dalam penelitian ini, dilihat kemampuan eceng gondok dalam menyerap dan mengakumulasi logam Pb dan Cd baik secara tunggal maupun campuran.

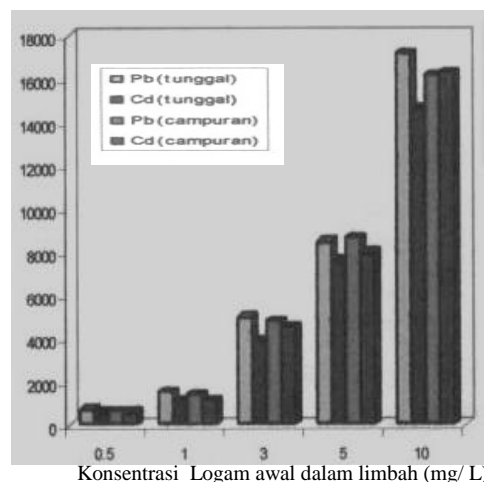
Selain mampu menyerap dan mengakumulasi berbagai jenis logam, eceng gondok juga dapat melakukan lokalisasi logam pada bagian akar dan jaringan (batang dan daun). Jenis logam sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk melakukan lokalisasi. Kemampuan tanaman melokalisasi logam ini menjadi hal yang sangat penting karena hal ini menggambarkan kemampuan tanaman untuk dapat mentoleransi dan melakukan detoksifikasi terhadap daya racun logam berat. Semakin terhambatnya translokasi logam dari akar ke dalam jaringan tanaman, maka semakin mudah tanaman melakukan detoksifikasi. Kemampuan toleransi dan detoksifikasi yang dimiliki oleh eceng gondok dilakukan dengan mengakumulasi sebagian besar logam berat di dalam akar. Eceng gondok juga melakukan toleransi dan detoksifikasi dengan mengakumulasi logam berat di vakuola dalam struktur selnya. Vakuola merupakan tempat yang aman untuk mengakumulasi logam karena vakuola merupakan daerah yang jauh dari proses metabolisme (Hall, 2002). Kemampuan eceng gondok melokalisasi logam dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada hari ke-15 eceng gondok mampu melokalisasi logam dalam bentuk campuran (Pb + Cd) dua kali lebih besar dibandingkan dengan bentuk tunggal. Hal ini dapat disebabkan karena kadar awal logam dalam bentuk campuran lebih banyak daripada kadar awal logam dalam bentuk tunggal. Untuk bentuk tunggal, eceng gondok mengakumulasi logam Pb dengan cukup baik untuk konsentrasi awal logam 10 mg/l yaitu sebesar 16644 mg/kg dan diikuti oleh logam Cd yaitu 14057 mg/kg. Sedangkan dalam bentuk campuran, logam Cd lebih banyak diakumulasi pada bagian akar yaitu sebesar 15670,5 mg/kg dan logam Pb sebesar 15597,5 mg/kg.

Konsentrasi Logam

Pada umumnya jumlah logam berat yang diserap oleh tanaman *hiperaccumulator* sebanding dengan konsentrasi logam berat yang ada di dalam limbah. Semakin tinggi konsentrasi logam, maka semakin banyak logam yang dapat diserap oleh eceng gondok.

Konsentrasi Logam
total di tanaman (mg/ L)



Gambar 4. Konsentrasi logam total di tanaman pada berbagai konsentrasi pada hari ke-15

Gambar 4 menunjukkan pengaruh konsentrasi awal logam dalam limbah terhadap konsentrasi logam yang diserap oleh eceng gondok. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi logam berat yang diserap oleh eceng gondok meningkat dengan meningkatnya konsentrasi awal logam dalam limbah. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa konsentrasi juga memberikan pengaruh nyata ($P < 0,05$) pada kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat. Konsentrasi logam dalam limbah juga mempengaruhi pertumbuhan tanaman, dengan meningkatnya konsentrasi logam dalam limbah menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat sehingga *removal efficiency* menjadi menurun. Hasil perhitungan *removal efficiency* yang telah dibahas sebelumnya juga menegaskan bahwa konsentrasi memberikan pengaruh dalam penurunan konsentrasi logam dalam limbah. *Removal efficiency* meningkat dengan meningkatnya konsentrasi awal logam dalam limbah untuk konsentrasi 0,5 - 3 mg/l namun pada konsentrasi tinggi (5 - 10 mg/l) *removal efficiency* semakin menurun.

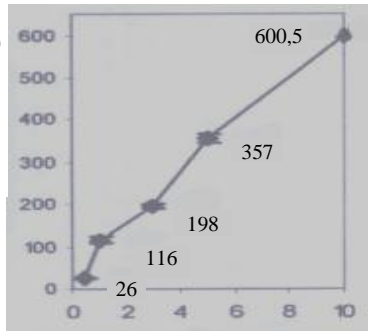
KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju penyerapan total logam berat lebih tinggi dalam bentuk campuran Pb dan Cd lebih tinggi dibandingkan dalam bentuk tunggal, yaitu sebesar 451,74 mg/kg/hari, Laju penyerapan untuk logam Pb tunggal adalah 269,66 mg/kg/hari, sedangkan Cd tunggal adalah 221,68 mg/kg/hari. Akumulasi logam total dalam bentuk campuran lebih tinggi dibandingkan dalam bentuk tunggal yaitu sebesar 32569 mg/kg, diikuti oleh Pb (tunggal) 17244,5

mg/kg dan Cd (tunggal) 15865,5 mg/kg. *Removal efficiency* paling tinggi dicapai pada konsentrasi awal logam dalam limbah 3 mg/l yaitu untuk logam Pb (tunggal) sebesar 88,10% diikuti logam Pb (campuran) 86,30%, Cd (campuran) 85,83% dan Cd

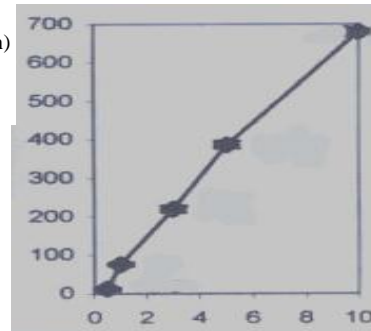
(tunggal) 85,33%. Kemampuan eceng gondok menyerap dan mengakumulasi logam berat dipengaruhi oleh jenis logam dan konsentrasi logam dalam limbah.

Konsentrasi Pb (tunggal) pada Jaringan (mg/kg)



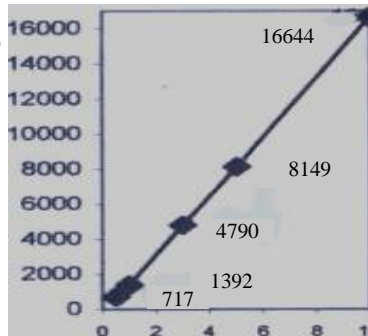
Konsentrasi awal Pb (tunggal) (mg/l)

Konsentrasi Cd(campuran) di jaringan (mg/kg)



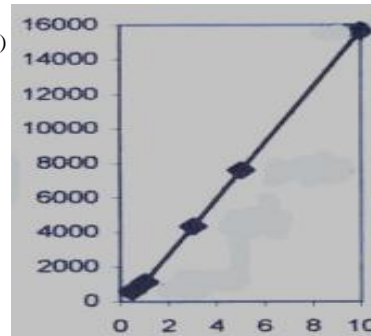
Konsentrasi awal Cd (campuran) (mg/l)

Konsentrasi Pb (tunggal) di akar (mg/kg)



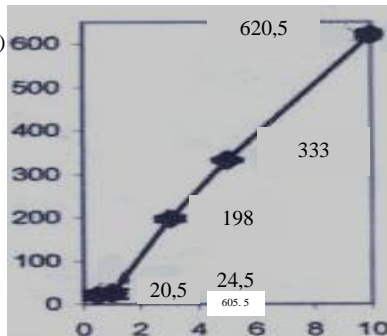
Konsentrasi awal Pb (tunggal) (mg/l)

Konsentrasi Cd(campuran) di akar (mg/kg)



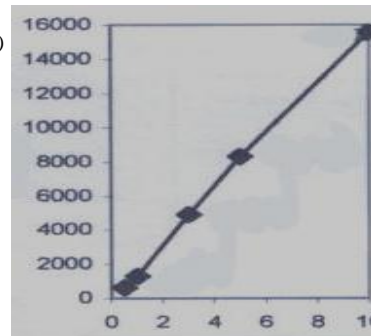
Konsentrasi awal Cd (campuran) (mg/l)

Konsentrasi Cd (tunggal) di Jaringan (mg/kg)



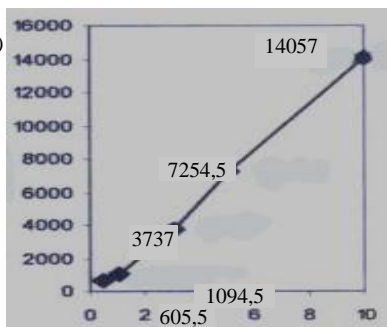
Konsentrasi awal Cd (tunggal) (mg/l)

Konsentrasi Pb(campuran) di jaringan (mg/kg)



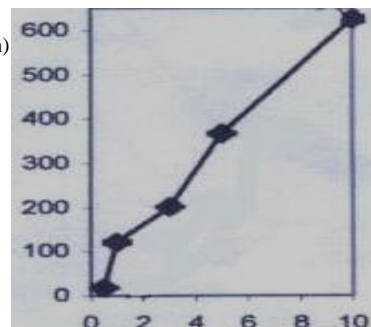
Konsentrasi awal Pb (campuran) (mg/l)

Konsentrasi Cd (tunggal) di akar (mg/kg)



Konsentrasi awal Cd (tunggal) (mg/l)

Konsentrasi Pb (campuran) di akar (mg/kg)



Konsentrasi awal Pb (campuran) (mg/l)

Gambar 3. Konsentrasi logam pada jaringan dan akar pada hari ke-15

DAFTAR PUSTAKA

- Darmono. 1995. Logam Berat dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: UI press.
- Hall JI. 2002. Cellular Mechanism For Heavy Metals Detoxification And Tolerance. J. Experimental Botany 53 (366): 1-11.
- Hines WW, Montgomery DC. 1989. Probabilita Dan Statistik dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen. Rudiansyah, penerjemah. Jakarta: UI Press; 1990. terjemahan dari: Probability And Statistic In Engineering And Management Science.
- Ingole NW, Bhole ag. 2003. Removal Of Heavy Metals From Aqueous Solution By Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) . J. Water SRT-Aqua 52: 119-128.
- Vara Prasad MN.Oliveira Freitas HM de. 2003. Metal Hyperaccumulation In Plants-Biodiversity Prospecting For Phytoremediation Technology. J. Biotechnology 6(3).
- Zayed A. Gowthaman S. Terry N. 1998. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. J. Environmental Quality 27: 715-721.
- Zhu YI. Zayed A, Qian JH. Souza M de. Terry N. 1999. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: II. Water Hyscinth J. Environmental Quality 28:339-344.